

Maan lämpötilan vaikutus kuivuusrasitukseen perustuvassa taimien laatutestissä

Risto Rikala & Pasi Puttonen

ABSTRACT: EFFECT OF SOIL TEMPERATURE IN A DROUGHT EXPOSURE BASED SEEDLING QUALITY TEST

Rikala, R. & Puttonen, P. 1988. Maan lämpötilan vaikutus kuivuusrasitukseen perustuvassa taimien laatutestissä. Abstract: Effect of soil temperature in a drought exposure based seedling quality test. *Silva Fennica* 22(4): 273–281.

Työssä tutkittiin juurten kuivattamisen vaikutusta kolmivuotiaiden, paljasjuuristen männyntaimien verson ja juuriston kehitykseen kahdessa eri maalämpötilassa (+12 ja +23°C). Kuivatus vähensi uusien juurenkärkien syntymistä, heikensi ja viivästytti verson ja neulasten pituuskasvua. Mitä voimakkaampi kuivatuskäsittely oli sitä suurempi osuus saman vuoden kasvaimen alaosan neulasista jäi kehittymättä. Kylmä maa korosti kuivatuksen vaikutusta niin, että eniten kuivatettujen taimien neulasten ja juurten pituuskasvu estyi kokonaan. Lämpimässä maassa tehdyt kasvatuskokeet saattavat yliarvioida taimien menestymismahdollisuuksia maastossa.

The effect of root exposure on the shoot and root development of *Pinus sylvestris* (L.) seedlings was studied at two soil temperatures. Roots of three-year-old seedlings were exposed to the temperature of 32 °C at relative air humidity of 50–40 % for 85, 155, and 270 minutes which corresponded to accumulated water pressure deficit of 24, 47, and 91 mbar·h, respectively. Thereafter, seedlings were grown for 65 days at the soil temperatures of 12 and 23 °C. Drought exposures inhibited new root initiation, delayed shoot elongation, and reduced shoot and needle growth. The stronger the exposure the larger the proportion of needles from the lower part of current shoot that remained undeveloped. Low soil temperature increased the effect of exposures so that needle elongation and initiation of new root tips of seedlings in cold soil with longest exposure were inhibited totally. Root growth assessments made in warm soil may overestimate the acclimation potential of planted seedlings.

Keywords: *Pinus sylvestris*, planting shock, root growth, shoot growth
ODC 161.4 + 181.22 + 232.324.2 + 232.412 *Pinus sylvestris*

Correspondence: *Rikala*: Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland. *Puttonen*: University of Helsinki, Department of Agricultural Economics – Farm Forestry, Viikki, SF-00710 Helsinki, Finland.

Accepted September 19, 1988

1. Johdanto

Istutusshokki on pääasiassa kuivuuden taimille aiheuttama stressi, joka ilmenee ensin taimien aineenvaihdunnassa (Hallman ym. 1978, Passioura 1982) ja myöhemmin istutuksen jälkeisessä kasvussa (Korpilahti 1982). Istutusshokkiin johtavat käsittelyvirheet taimien kuljetuksen ja varastoinnin aikana tunnetaan verraten hyvin (esim. Yli-Vakkuri 1957, Långström 1971, Kauppi 1984, Puttonen 1986). Taimien ja etenkin niiden juurien kuivumiseen on kiinnitetty myös käytännön taimienkäsittelyohjeissa runsaasti huomiota (Lehto 1969, Kaila 1979).

Myös maaperän lämpötilan on jo kauan tiedetty vaikuttavan taimien kasvuun (Aaltonen 1940, 1942) ja alhaisen maalämpötilan on epäilty heikentävän metsänviljelyn tulosta varsinkin Pohjois-Suomessa (Leikola 1974, Lähde 1978) ja Pohjois-Ruotsissa (Söderström 1974). Kylmän maan on havaittu heikentävän taimien vedenottoa, vähentävän kasvua ja välillisesti jopa lisäävän taimikuolleisuutta (esim. Kaufmann 1977, Whitehead ja Jarvis 1981, Lopushinsky ja Kaufmann 1984).

Varastoinnin ja kuljetuksen aiheuttaman räsituksen ja maan lämpötilan yhteisvaikutus taimiin tunnetaan huonosti. Maan alhaisella lämpötilalla on havaittu olevan samansuuntaisia vaikutuksia kuin taimien kuivattamisella ennen istutusta. Kylmässä maassa taimien verson ja neulasten pituuskasvu sekä juuriston kasvu heikkenee (Kaufmann 1975, 1977, Lopushinsky ja Kaufmann 1984). Juuriston kasvun optimilämpötila vaihtelee puolajetain 19–23 °C (Heininger ja White 1974, Söderström 1974) ja 11–14 °C:n alapuolella juurten kasvu heikkenee huomattavasti (Nambiar ym. 1979). Mitä kylmempi maa on sitä suurempi on verson painon suhde juuriston painoon (Aaltonen 1942).

Kylmä maa vähentää taimien vedenottoa

lisäämällä veden viskositeettia ja vähentämällä juuriston solukalvojen läpäisevyyttä (Kaufmann 1977). Tämä johtaa taimien vesipotentiaalin ja haihdunnan pienenemiseen sekä fotosynteesin hidastumiseen (Whitehead ja Jarvis 1981). Siten on odotettavissa, että taimien istutusta edeltävän kuivumisen aiheuttama istutusshokki voimistuu istutettaessa taimet kylmään maahan. Lisäksi ilman alhainen vesihöyrypitoisuus keväällä ja alkukesällä (Kolkki 1980), juuri istutuskauden aikana, lisää potentiaalista haihduntaa. Nämä tekijät voisivat myös osittain selittää eroja metsänviljelykokeiden ja käytännön metsänviljelyn tulosten välillä.

Altistuskokeissa, joissa taimet on istutettu lämpimään maahan, taimien menestyminen on voinut olla yllättävän hyvä pitkäaikaisesta kuivatuksesta huolimatta (esim. Kauppi 1984). Sama ilmiö saatetaan kohdata myös sovellettaessa taimien kasvuun perustuvia laatutestejä kuten ns. OSU-testiä (Hermann ja Lavender 1979) tai juurten kasvupotentiaalia (Ritchie 1985). Taimien laatutestin soveltuvuuden, ts. sen tarkkuuden ja täsmällisyyden kannalta, olisi koeolosuhteiden vastattava käytännön metsänviljelyolosuhteita tai olisi ainakin tunnettava testitulosten ja taimien todellisen menestymisen välinen riippuvuus.

Tässä raportissa esitetään tulokset esikoesta, jossa tarkasteltiin kuivuusräsituksen käyttökelpoisuutta taimien laatua arvioitaessa tutkimalla istutusta edeltävän juurten kuivattamisen vaikutusta paljasjuuristen mätäntaimien verson ja juuriston kehitykseen lämpötilaltaan erilaisissa kasvualustoissa.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja siihen varteenotettuja korjausehdotuksia tehneet prof. Matti Leikola, dos. Jari Parviainen ja dos. Heikki Smolander.

2. Materiaali ja menetelmät

21. Taimet ja kuivuskäsittely

Kokeessa käytettiin paljasjuurisista 2A x 1A-männyn taimia (keskipituus ± hajonta: 13,6 ± 2,7 cm, alkuperä Suonenjoki, T10-81-19), jotka nostettiin 14.5.1986. Taimia säilytettiin suljetussa muovisäkinä jähdytetyssä varastossa (+5°C) 18.6. saakka, jolloin taimet altistettiin kuivatusrasitukselle ja istutettiin.

Altistus toteutettiin taimien kuivuusräsitustestiä, ns. OSU-testiä (Hermann ja Lavender 1979, McCreary ja Duryea 1985) mukaillen. Alkuperäisessä OSU-testissä taimia räsitetään 32°C:n lämpötilassa ja 30 %:n suhteellisessa kosteudessa 15 min ajan. Räsitettyjen ja tuoreena istutettujen taimien kuolleisuutta ja silmujen puhkeamista seurataan kontrolloiduissa kasvihuoneolosuhteissa kaksi kuukautta. Tulosten tulkinta pohjautuu räsitettyjen ja kontrollitaimien vertailuun.

Tässä kokeessa taimia kuivatettiin juuret paljaina pimeässä kasvatuskaapissa, jonka lämpötila oli +32 °C ja suhteellinen kosteus kuivatuksen alussa 50 % ja lopussa 40 %. Koska kosteutta ei kaapissa voitu pitää vakiona kuivatuksen aikana, saatettiin käsittelety vertailukelpoisiksi summaamalla ABC-mikrotietokoneella Vaisalan HMI33-kosteusmittarilla mitattu kaapin ilmatilan todellisen ja kastepistelämpötilan ero. Käsitteletyjä oli neljä: 0 (kontrolli), 10, 20 ja 40 astetuntia (°C h) (taulukko 1). Lämpötilaerot muunnettiin vesihöyryn kyllästysvajaussummaksi (mbar·h) ottaen huomioon vesihöyryn kyllästyspaineen lämpötilariippuvuuden epälineaarisuus. Altistustasot saatiin aiempien menetelmätietokoneiden tulosten perusteella. Kuivatuskäsittely aloitettiin kaikilla taimilla kaapissa samanaikaisesti ja kukin käsittely lopetettiin ao. kyllästysvajaussumman täytyttyä.

Ennen altistusta taimien juuret pestiin ja kuivattiin kevyesti huokoisella paperilla. Kaappiin ne asetettiin metalliritilöille siten, etteivät ne joutuneet päällekkäin. Taimet punnittiin painohäviön mittaamiseksi ennen ja jälkeen kuivatuksen. Kuivatuksen jälkeen taimien juuristo upotettiin 5 minuutiksi n. 25 °C:n lämpöiseen veteen ennen istutusta.

Taulukko 1. Kuivatuskäsittelyjen kesto ilmaistuna todellisen ja kastepistelämpötilan erotuksen summana, ilman vesihöyryn kyllästysvajausten summana ja altistusajana sekä taimien keskimääräinen painonmenetyksen kuivatuksen aikana.

Table 1. Accumulated difference of actual and dew point temperature, accumulated water pressure deficit of air, exposure time, and average loss in fresh weight of seedlings during the exposure.

Kuivatuskäsittely	Todellisten ja kastepistelämpötilojen erotuksen summa	Ilman vesihöyryn kyllästysvajausten summa	Altistus-aika	Taimien painonmenetyksen
<i>Drought treatment</i>	<i>Accumulated difference of actual and dew point temperature</i>	<i>Accumulated water pressure deficit</i>	<i>Exposure time</i>	<i>Average loss in fresh weight</i>
	°C h	mbar·h	min	%
Vertailu	0	0	0	0
Control				
Kuivatus 1	10	24	85	13
<i>Drought 1</i>				
Kuivatus 2	20	47	155	20
<i>Drought 2</i>				
Kuivatus 3	40	91	270	28
<i>Drought 3</i>				

22. Kasvatusympäristö

Taimet istutettiin lasikasvihuoneen kasvatuspöytiin, joissa voidaan säädellä maan lämpötilaa. Jokaista kuivatuskäsittelyä (4 kpl) ja maan lämpötilaa (2 kpl) kohti istutettiin 20 tainta, jotka jakautuivat kahteen toistoon. Kokeessa oli siten yhteensä 160 tainta.

Kasvatuspöytä muodostui kahdesta metalliverkkopohjaisesta 200 cm x 110 cm x 15 cm (korkeus) altaasta, jotka oli vuorattu muovilla. Altaiden alla oli polystyreeniseinillä eristetty laatikko, jossa jähdytys- ja lämmitysputket kulkivat. Taimet istutettiin 10 cm x 25 cm taimivälein lannoittamattoman ja kalkitsemattoman kasvuturpeen ja hiekan sekoitukseen (suhde 1:1). Kasvualusta pidettiin

kosteana kastelemalla sitä tarvittaessa, tavallisesti kaksi kertaa viikossa. Mahdollinen liika vesi valui altaiden pohjaan asennetetuista putkista.

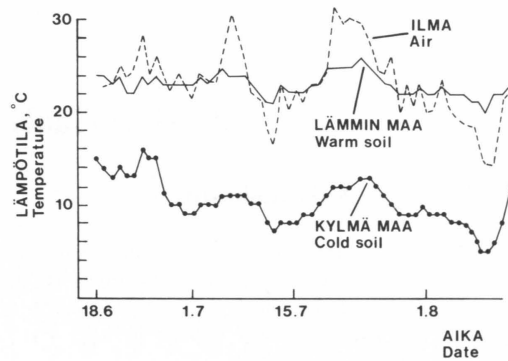
Altaiden säädetyt lämpötilat olivat +25°C ja +10°C. Pystysuuntaisten lämpötilaerojen vähentämiseksi kylmemmän altaan pinta peitettiin 3 cm paksuisilla polystyreenilevyillä siten, että kasvualustan pinta oli paljaana vain noin 4 cm:n kaistaleelta taimirivien kohdilta. Maan lämpötilaa seurattiin kokeen aikana maatermografilla (Lambrecht 257) mitattuna 10 cm:n syvyydeltä. Lämpimän maan keskilämpötila oli kokeen aikana +23 °C ja kylmän maan vastaavasti +12 °C (kuva 1).

Kasvatusaltaassa lämpötilan pysty- ja vaakasuuntainen vaihtelu mitattiin kertaalleen Sensotherm 100 digitaalisella lämpömittarilla, joka oli varustettu puikkomaisella 15 cm pitkällä anturilla. Seuraavassa ovat systemaattisella otannalla (n=88 /lämpötila/ syvyys) 26.6. toteutetun lämpötilamittauksen tulokset:

	Keskimäärin	Hajonta °C	Vaihteluväli
Lämmin maa			
5 cm syvyys	24,3	0,7	23,1–26,0
10 " " "	24,6	2,3	23,1–26,6
Kylmä maa			
5 cm syvyys	13,3	1,9	10,6–17,2
10 cm syvyys	11,4	2,5	8,3–15,4

Lämpimässä maassa ei ollut systemaattista vaakasuuntaista vaihtelua. Sen sijaan kylmässä käsittelyssä altaan reunaosat olivat keskiosia lämpimämpiä. Erot eliminoitiin koejärjestelyssä istuttamalla taimet käsittelyittain lämpötilagradientteja vasten. Näin kuivatuskäsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja maalämpötilassa.

Ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta seurattiin Fuessin valmistamalla termohygrografilla. Ilman lämpötila oli päivällä keskimäärin +26 °C ja yöllä +19 °C. Lämpötilan vaihteluväli kokeen aikana oli +13–+42 °C. Päivittäinen suhteellisen kosteuden keskimääräinen vaihteluväli oli 42–67 %. Ilman



Kuva 1. Lämpimän ja kylmän maan sekä ilman päivittäinen keskilämpötila kokeen aikana.

Fig. 1. Daily mean temperatures of warm and cold soil, and air during the experiment.

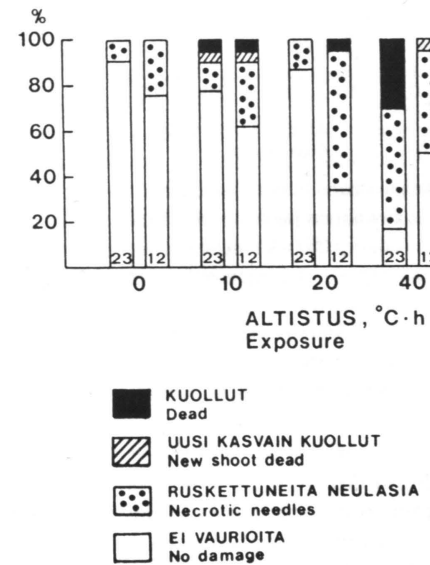
vesihöyryn kyllästyspaineen vajuus oli ilmassa keskimäärin 10,7 hPa vaihdellen päivittäin 4,1–30,0 hPa. Kasvihuoneen akrylikate ja rakennelmat pidättivät noin 50 % kasvatuspöydille lankeavasta luonnonvalosta. Kasvatuspöydien yläpuolella, noin 1 m:n korkeudella, oli 4 kpl HQI-400-lampuin varustettua Boot Electra-valaisinta, jotka antoivat noin 120 μ mol m⁻²s⁻¹ (PAR) lisävalaistuksen 18 tunnin valoperiodilla.

23. Taimimittaukset

Istutuksen jälkeen mitattiin taimien pituus ja varastoinnin aikana venyneen silmun pituus. Koe alkoi 18. 6. 1987 ja kokeen aikana taimien pituuskasvua seurattiin viikon välein 20. 7. 1987 saakka, jolloin ensimmäisen toiston taimet nostettiin ja mitattiin. Toisen toiston taimet nostettiin ja mitattiin 19. 10. 1987. Taimista mitattiin tyviläpimitta, ruskettuneiden neulasten osuus, uuden kasvaimen neulasten keskimääräinen pituus ja uusien, yli 5 mm:n mittaisien valkeiden juurenkärkien lukumäärä (vain I toistosta). Koska osaan taimista olivat neulaset kehittyneet vain kasvaimen yläosaan, mitattiin myös neulasettoman kasvaimen suhteellinen osuus.

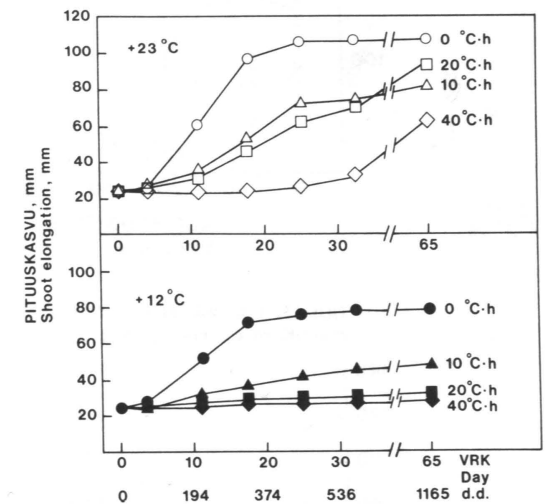
3. Tulokset

Taimien ja uusien kasvaimien kuolleisuus sekä ruskettuneiden vanhojen neulasten osuus oli suurin kuivatetuilla taimilla (kuva 2). Lämpimässä maassa eivät kaksi lievintä kuivatusta juuri olleet vaikuttaneet uusien juurenkärkien määrään (kuva 4A). Voimakkain kuivatus sen sijaan tyrehtytti kokonaan juurenkärkien syntymisen. Kuivattamattomiin taimiin syntyneiden uusien juurenkärkien määrä oli kylmässä maassa kasvatettaessa vajaa 70 % lämpimässä maassa kasvatettuihin taimiin verrattuna ja lievästi kuivatetuilla taimilla vastaavasti vain 12 %. Kahdelle voimakkaimmin kuivatetulle taimierälle ei kylmässä maassa syntynyt lainkaan uusia valkeita juurenkärkiä. Lievä kuivatus lisäsi lämpimässä maassa kasvatettuihin taimiin syntyneiden valkeiden juurenkärkien määrää. Tätä ei kylmässä maassa kasvatetuissa taimissa esiintynyt.



Kuva 2. Taimien ja uusien kasvainten kuolleisuus sekä ruskettuneiden vanhojen neulasten osuus kuivatuskäsittelyittain lämpimässä (23 °C) ja kylmässä (12 °C) maassa.

Fig. 2. Mortality of seedlings and current shoots, and the proportion of necrotic previous year's needles by the exposure treatments in warm (23 °C) and cold (12 °C) substrate.

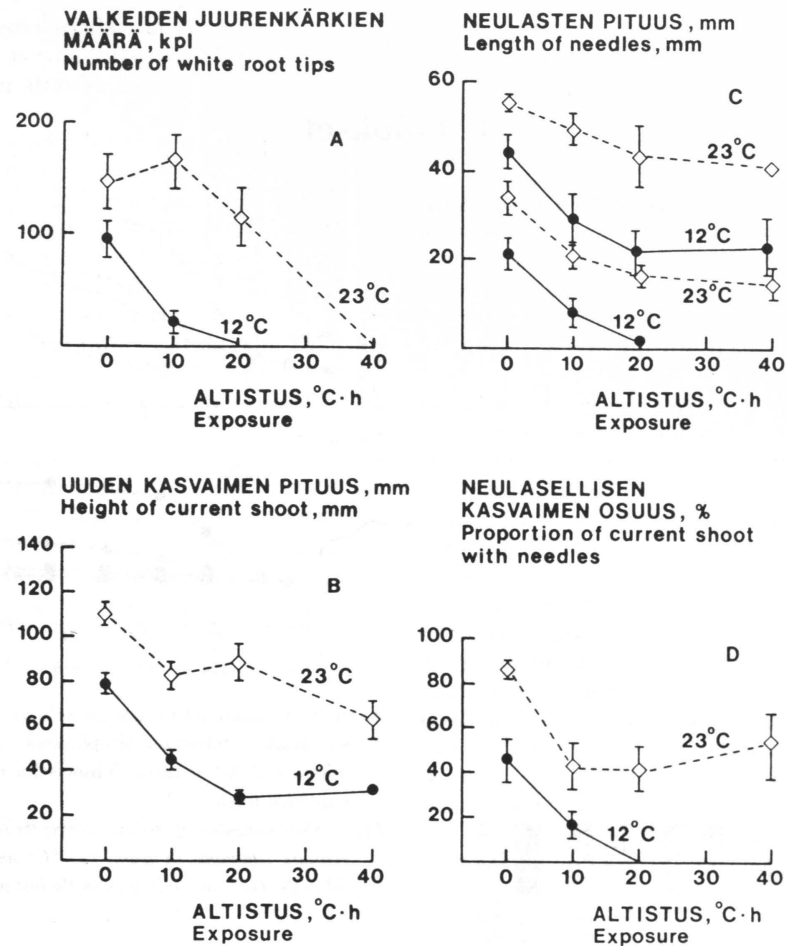


Kuva 3. Taimien pituuskasvun kehitys kokeen aikana kuivatuskäsittelyittain lämpimässä (23 °C) ja kylmässä (12 °C) maassa. Viimeisellä mittauskerralla vain yksi toisto.

Fig. 3. Shoot elongation of seedlings during the study period by the exposure treatments in warm (23 °C) and cold (12 °C) substrate. Only one replication in the last measurement.

Taimien kuivattaminen ennen istutusta viivästytti taimien pituuskasvua (kuva 3). Kuivattamattomat taimet saavuttivat lämpimässä maassa kasvatettaessa 75 % pituuskasvustaan noin kahdessa viikossa (267 d.d.) ja lopullisen pituutensa vajaan neljässä viikossa (452 d.d.). Kuivatetuilta taimilta kului 75 % pituuskasvun saavuttamiseen kuivatuskäsittelyn kestosta riippuen 3 viikkoa (374 d.d.), 4,5 viikkoa (574 d.d.) ja runsaat 5 viikkoa (675 d.d.).

Kylmässä maassa kasvatettujen taimien pituuskasvurytmi ei juuri poikennut lämpimässä maassa kasvaneiden taimien pituuskasvun rytmistä. Tulkintaa kuitenkin vaikeuttaa se, että kaikkien taimien pituuskasvu oli alkanut jo varastoinnin aikana ja silmut olivat venyneet noin 25 mm:n mittaisiksi ennen istutusta.



Kuva 4. Uusien valkeiden juurenkärkien lukumäärä neljän viikon kasvatuksen jälkeen (A), uuden kasvaimen pituus (B), neulasten pituus kasvaimen puoliväliltä (alemmat kuvaajat) ja päätesilmun alta (ylemmät kuvaajat) (C) sekä neulasellisen kasvaimen osuus (D) kuivatuksen funktiona lämpimässä (-----) ja kylmässä (—) maassa.

Fig. 4. Number of new white root tips four weeks after planting (A), height of current shoot (B), length of needles at the half of current shoot (upper curves) and from the base of terminal bud (lower curves) (C), and the proportion of needle-bearing current shoots (D) by the exposure treatments in warm (-----) and cold (—) substrate.

Sekä istutusta edeltänyt kuivatus että kylmä maa heikensivät taimien pituuskasvua (kuva 4B). Taimien pituuskasvaimet jäivät kylmässä maassa kuivatuskäsittelystä riippuen noin 33–72 % lyhyemmiksi kuin lämpimässä maassa. Voimakkaimmin kuivatettujen taimien kasvaimet eivät venyneet kuin muutamia millimetrejä istutuksen jälkeen.

Kuivatettujen taimien viimeisen vuosikasvaimen alaosan neulaset kehittyivät heikosti (kuva 4D). Mitä voimakkaampi kuivatus oli

sitä vähemmän kehittyi neulasia. Ilmiö korostui kasvatettaessa taimia kylmässä maassa niin, että joihinkin voimakkaimmin kuivatettujen taimien uusiin kasvaimiin ei kehittynyt lainkaan neulasia. Syntyneet neulaset olivat myös muita lyhyempiä (kuva 4C). Välittömästi päätesilmun alapuolella olevat neulaset kasvoivat koejakson loppupuolelle saakka, jolloin ne muodostuivat muita neulasia pidemmiksi.

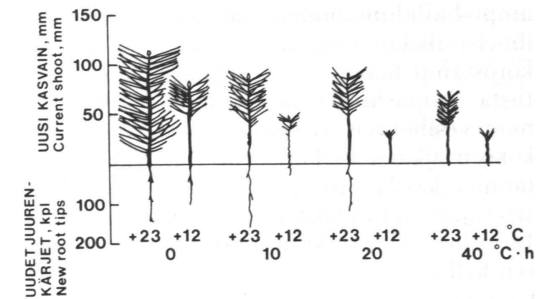
4. Tulosten tarkastelu

Taimien kuivumisen on todettu heikentävän taimien pituuskasvua ja kuiva-ainetuotosta sekä lisäävän kuolleisuutta (esim. Hermann 1964, Mullin 1978, Parviainen 1980, Korpilahti 1982, Kauppi 1984). Kasvun heikkeneminen johtuu taimien juuriston kuivumisesta, minkä seurauksena taimien vedenotto heikkenee, haihdunta pienenee ja samalla uusien juurenkärkien muodostuminen hidastuu (Coutts 1980, 1981). Juurten kuivuminen aiheuttaa useiden viikkojen, jopa kuukausien pituisen fotosynteesin ja haihdunnan heikkenemisen (Hallman ym. 1978), mikä heijastuu usean kasvukauden päähän taimien kuiva-ainetuotoksen vähenemisenä (Korpilahti 1982, Örländer 1984).

Havupuilla juurten kärkien syntyminen ja kasvu ovat erilaisia toimintoja ja niihin vaikuttavat eri tekijät (Ritchie ja Dunlap 1980). Uusien juurenkärkien syntymiseen vaikuttaa juuriston aukiini- ja sytokiniinipitoisuuksien tasapaino. Näiden kasvuhormonien pitoisuuksia säätelevät mm. ilman ja maan lämpötila (Torrey 1986). Fotosynteesituotteiden, etenkin kuluvan kasvukauden yhteyttämis- tuotteiden vähäisyys hidastaa uusien juurenkärkien kasvua (Ritchie ja Dunlap 1980, van den Driessche 1987), mikä puolestaan edelleen heikentää taimien vedenottoa. Lisäksi on viitteitä, että alhaisessa lämpötilassa (alle +15 °C) myös mykorrhizojen muodostuminen on heikompaa kuin korkeammassa lämpötiloissa (Heininger ja White 1974).

Onkin päätelty, että ensisijainen syy kylmän maan aiheuttamaan taimien heikkoon elossapysymiseen istutuksen jälkeen on juurten kasvun estyminen ja tämän seurauksena taimien altistuminen mm. kesän kuivien kausien rasituksille (Lopushinsky ja Kaufmann 1984).

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat edellä esitettyjä päätelmiä. Sekä taimien kuivatus että maan alhainen lämpötila heikensivät verson ja neulasten kasvua ja uusien juurenkärkien syntymistä (kuva 5). Kylmän maan ja kuivatuksen yhteisvaikutus oli vielä voimakkaampi. Kuivatettujen taimien verson ja neulasten sekä uusien juurenkärkien kasvu



Kuva 5. Uusien kasvaimien rakenne tutkimusjakson loppussa ja uusien valkeiden juurenkärkien määrä 4 viikkoa istutuksesta kuivatuskäsittelyittain lämpimässä (23 °C) ja kylmässä (12 °C) maassa.

Fig. 5. Morphology of current shoots at the end of the study period and number of white root tips 4 weeks after planting shown by the exposure treatments in warm (23 °C) and cold (12 °C) substrate.

estyi lähes kokonaan kylmässä maassa. Kasvukauden pituuskasvun aikainen kuivuus lyhentää vuosikasvaimen ja neulasten pituutta. Vaikutus riippuu kuitenkin edellisestä kasvukautena vallinneista kosteusolosuhteista, sillä kuivuus alentaa kääpiöversojen määrää (Garret ja Zahner 1973). Koska männyn verson kasvu alkaa silmun tyveltä, niin alimmat neulaset saattavat kehittyä heikosti mikäli maan tai ilman lämpötila on tuolloin alhainen.

Lämpimässä maassa taimien pituuskasvu eteni vuotuisen lämpösunnan suhteen hieinan Raulon ja Leikolan (1974) esittämää riippuvuutta nopeammin. Pituuskasvun kesto oli em. tutkimuksessa n. 510 d.d. ja tässä tutkimuksessa n. 450 d.d. Ero johtunee siitä, että taimien silmujen puhkeaminen oli alkanut jo varastoinnin aikana. Kuivatus hidastutti taimien pituuskasvurytmiä, mikä poikkeaa Hallmannin ym. (1978) esittämistä tuloksista, joiden mukaan kuivuudella ei ollut vaikutusta pituuskasvurytmiin.

Tässä tutkimuksessa taimia varastoitettiin neljä viikkoa, jona aikana ne olivat kuluttaneet hiilihydraattivarastoaan mahdollisesti jopa 50 % (Puttonen 1986). Taimien silmut

olivat selvästi venyneet ja ne olivat jo aktiivisessa vaiheessa, jolloin ne ovat yleensä alttiimmillaan kuivatusvaurioille (Hermann 1964, Coutts 1981). Vaikka ilman lämpötila oli keskimäärin 10 °C maan lämpötilaa korkeampi, haihduntanopeus näissä olosuhteissa ei ilmeisestikään ollut niin suuri, että se olisi korostanut maan alhaisen lämpötilan vaikutusta (Lopushinsky ja Kaufmann 1984). Ilman vesihöyryn kyllästyspaineen vajuus oli kokeen aikana keskimäärin 10,7 hPa. Myös taimien kasvualuesta pidettiin koko kasvatuksen ajan optimikosteudessa. Sandfordin ja Jarvisin (1986) tutkimuksessa ilman vesihöyryn kyllästyspaineen vajuuden vaikutuksista havupuiden kaasuaineenvaihduntaan todettiin, ettei kyllästysvajuus alueella 0,7–2,0 kPa (7–20 hPa) vaikuttanut juurikaan männyntaimien haihduntaan.

Tämän esikokeen perusteella voidaan aset-

taa uusia kysymyksiä, jotka koskevat toisaalta juuriston kasvuun perustuvia taimien laadun arviointimenetelmiä ja toisaalta taimien alkukehitystä viljelypaikalla. Näyttäisi siltä, että lämpimässä tehdyt juuriston kasvukoeket yliarvioivat taimien mukautumispotentiaalia. Yliarvio korostuu entisestään, jos taimia ei altisteta kuivuudelle ennen testausta.

Vaikka kokeessa kuoli vain n. 4 % taimista, poikkesi taimien ulkonäkö eri käsittelyissä yhden kasvukauden jälkeen selvästi 'normaaleista' istutustaimista ja muistutti paljon viileän kesän 1987 istutustaimia lyhyine kasvuineen ja neulasineen. On mahdollista, että osa taimien heikosta menestymisestä niinä vuosina, jolloin maa on roudassa myöhään, johtuu kylmästä maasta. Maan lämpötilan ja muiden kasvuolosuhteiden yhdysvaikutusten selvittäminen vaatii kuitenkin lisätutkimuksia.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T. 1940. Metsämaa. WSOY. 615 s.
 — 1942. Muutamia kasvukoikeita puuntaimilla. Referat: Einige Vegetationsversuche mit Baumpflanzen. Acta For. Fenn. 50(6). 33 s.
- Coutts, M. 1980. Control of water loss by actively growing Sitka spruce seedlings after transplanting. J. Exp. Bot. 31(125):1587–1597.
- 1981. Effects of root or shoot exposure before planting on the water relations, growth, and survival of Sitka spruce. Can. J. For. Res. 11:703–709.
- Driessche, R. van den 1987. Importance of current photosynthate to new root growth in planted conifer seedlings. Can. J. For. Res. 17:776–782.
- Garret, P.W. & Zahner, R. 1973. Fascicle density and needle growth responses of red pine to water supply over two seasons. Ecology 54(6): 1325–1334.
- Hallman, E., Hari, P., Räsänen, P.K. & Smolander, H. 1978. The effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis and height increment of Scots pine seedlings. Seloste: Istutusshokin vaikutus männyntaimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun. Acta For. Fenn. 161. 26 s.
- Heininger, R.L. & White, D.P. 1974. Tree seedling growth at different soil temperatures. Forest Sci. 20: 363–367.
- Hermann, R.K. 1964. Effects of prolonged exposure of roots on survival of 2–0 Douglas-fir seedlings. Journal of Forestry 62(6): 401–403.
- & Lavender, D.P. 1979. Testing the vigor of coniferous planting stock. Oregon State University Forest Research Laboratory, Corvallis. Research Note 53. 3 s.
- Kaila, S. 1979. Tuloksellinen metsänviljely. Kirjayhtymä. Rauma. 125 s.
- Kaufmann, M.R. 1975. Leaf water stress in Engelmann spruce: Influence of root and shoot environments. Plant Physiol. 56: 841–844.
- 1977. Soil temperature and drought effects on growth of Monterey pine. Forest Sci. 23: 317–325.
- Kauppi, P. 1984. Stress, strain, and injury: Scots pine transplants from lifting to acclimation of planting site. Tiivistelmä: Metsänviljelytaimien vaurioituminen noston ja istutuksen välillä. Acta For. Fenn. 185. 49 s.
- Kolkkki, O. 1980. Vesihöyryn paine Suomessa 1951...1965. Abstract: Water vapour pressure in Finland for 1951...1965. Ilmatieteen laitoksen tiedonantoja 34. 30 s.
- Korpilahti, E. 1982. Istutusta edeltäneen kuivatuksen vaikutus männyn taimien fotosynteesiin ja kasvuun. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 37. 96 s.
- Lehto, J. (toim.). 1969. Metsänviljely. Kirjayhtymä. 376 s.
- Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84(2). 64 s.
- Lopushinsky, W. & Kaufmann, M. 1984. Effect of cold soil on water relations and spring growth of Douglas-fir seedlings. Forest Sci. 30: 628–634.
- Långström, B. 1971. Viktförlust, vattenhalt och plantavgång hos kyllagrade tallplantor. Summary: Weight loss, water content and mortality of cold stored seedlings of Scots pine. Silva Fenn. 5(1): 20–31.
- Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 94(5). 59 s.
- McCreary, D.D. & Duryea, M.L. 1985. OSU vigor test: principles, procedures, and predictive ability. Julkaisussa: Duryea, M.L. (toim.) Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Workshop held October 16–18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 85–92.
- Mullin, R. 1978. Root exposure, root dipping and extended spring planting of white pine seedlings. Forestry Chronicle 54(2): 84–87.
- Nambiar, E.K.S., Bowen, G.D. & Sands, R. 1979. Root regeneration and water status of *Pinus radiata* D. Don seedlings transplanted to different soil temperatures. J. Exp. Bot. 30(119): 1119–1131.
- Parviainen, J. 1980. Juurten leikkaaminen männyn paljasjuuristen taimien kasvatukseen. Zusammenfassung: Wurzelschnitt als Anwachsmethode bei wurzelnackten Kiefernpflanzen. Commun. Inst. For. Fenn. 98(2). 129 s.
- Passioura, J.B. 1982. Water in the soil-plant-atmosphere continuum. Julkaisussa: Lange, O.C., Nobel, P.S., Osmond, C.B. & Ziegler, H. (toim.). Physiological Plant Ecology II. Water relations and carbon assimilation. Springer-Verlag. Berlin. s. 5–33.
- Puttonen, P. 1986. Carbohydrate reserves in Scots pine seedling needles as attribute of seedling vigor. Scand. J. For. Res. 1(2): 181–193.
- Raulo, J. & Leikola, M. 1974. Tutkimuksia puiden pituuskasvun ajoittumisesta. Summary: Studies on the annual height growth of trees. Commun. Inst. For. Fenn. 81(2). 19 s.
- Ritchie, G.A. 1985. Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. Julkaisussa: Duryea, M.L. (toim.) Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Workshop held October 16–18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 93–105.
- & Dunlap, J.R. 1980. Root growth potential: Its development and expression on forest tree seedlings. N.Z. For. Sci. 10: 218–248.
- Sandford, A.P. & Jarvis, P.G. 1986. Stomatal response to humidity in selected conifers. Tree Physiology 2: 89–103.
- Söderström, V. 1974. Orienterande laboratorieförsök angående marktemperaturens betydelse för barrträdsplantors tillväxt. Summary: Influence of soil temperature on conifer plant growth – pilot studies in the laboratory. Sveriges SkogsFöb. Tidskr. 5–6: 595–614.
- Torrey, J.G. 1986. Endogenous and exogenous influences on the regulation of lateral root formation. Julkaisussa: Jackson M. B. (toim.). New root formation in plants and cuttings. Developments in plant and soil sciences 20: 31–66.
- Whitehead, D. & Jarvis, P.G. 1981. Coniferous forests and plantations. Julkaisussa: Kozlowski, T. T. (toim.). Water deficits and plant growth. Academic Press. New York. s. 50–132.
- Yli-Vakkuri, P. 1957. Tutkimuksia taimien pakkauksesta ja kuljetuksesta. Summary: Investigations into the packing and transportation of plants. Commun. Inst. For. Fenn. 49(1). 59 s.
- Örlander, G. 1984. Effect of planting and scarification on the water relations in planted seedlings of *Pinus sylvestris* L. 33 s. Julkaisussa: Some aspects of water relations in planted seedlings of *Pinus sylvestris* L. (Väitöskirjan osatyö I). Swedish University of Agricultural Sciences.

Total of 36 references